

Reflector for electromagnetic waves in wavelength range below 200 nm

Patent Number: DE10127086
Publication date: 2002-12-05
Inventor(s): STACKLIES SIEGFRIED (DE); WEISER MARTIN (DE); DINGER UDO (DE); HAIDL MARKUS (DE)
Applicant(s): ZEISS CARL (DE)
Requested Patent: ☐ DE10127086
Application Number: DE20011027086 20010602
Priority Number(s): DE20011027086 20010602
IPC Classification: G21K1/06; G02B5/08
EC Classification: G21K1/06, G03F7/20A3, G03F7/20T26
Equivalents: ☐ WO02099818

Abstract

The reflector has a mirror support (1) of material of approximate. vanishing heat expansion and at least one reflecting layer (3) deposited on it. The mirror support and reflecting layer sandwich an intermediate layer (2). The intermediate layer is of material, whose surface roughness is not significantly increased after radiation beam processing. Preferably, the mirror support is of glass-ceramic material with embedded crystallite. The intermediate layer thickness is between 100 nm and 10 microns. Independent claims are included for reflector manufacture, method and application.

Data supplied from the esp@cenet database - I2



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 101 27 086 A 1**

⑤① Int. Cl.⁷:
G 21 K 1/06
G 02 B 5/08

②① Aktenzeichen: 101 27 086.0
②② Anmeldetag: 2. 6. 2001
④③ Offenlegungstag: 5. 12. 2002

DE 101 27 086 A 1

⑦① Anmelder:
Carl Zeiss, 89518 Heidenheim, DE

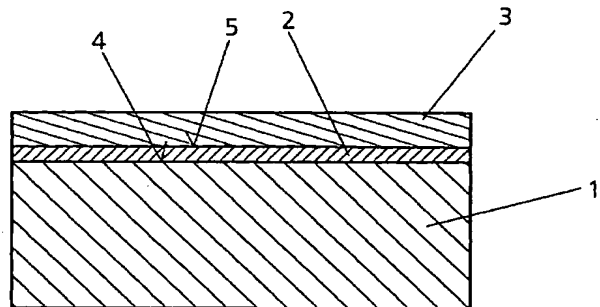
⑦④ Vertreter:
Lorenz und Kollegen, 89522 Heidenheim

⑦② Erfinder:
Stacklies, Siegfried, 73453 Abtsgmünd, DE; Weiser,
Martin, Dr., 74889 Sinsheim, DE; Dinger, Udo, Dr.,
73447 Oberkochen, DE; Haidl, Markus, Dr., 73431
Aalen, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤④ Vorrichtung zur Reflexion von elektromagnetischen Wellen

⑤⑦ Eine Vorrichtung dient zur Reflexion von elektromagnetischen Wellen, insbesondere in einem Längenbereich kleiner als 200 nm. Sie weist einen Spiegelträger (1) aus einem Material mit wenigstens annähernd verschwindender Wärmeausdehnung und wenigstens einer auf diesem Spiegelträger (1) aufgetragenen reflektierenden Schicht (3) auf. Zwischen dem Spiegelträger (1) und der reflektierenden Schicht (3) ist eine Zwischenschicht (2) aus einem Material angebracht, welches so ausgebildet ist, daß sich seine Oberflächenrauheit nach Strahlbearbeitungsverfahren nicht signifikant erhöht.



DE 101 27 086 A 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Reflexion von elektromagnetischen Wellen, insbesondere in einem Wellenlängenbereich kleiner 200 nm, nach der im Oberbegriff von Anspruch 1 näher definierten Art. Außerdem betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung einer derartigen Vorrichtung zur Reflexion von elektromagnetischen Wellen.

[0002] Aus der DE 198 30 449 A1 ist ein aus Kristall bestehendes Spiegelsubstrat bekannt, welches mit einer amorphen Schicht in der Größenordnung von 1 bis 100 µm versehen ist, welche eine weitaus höhere Politurqualität als das Spiegelsubstrat selbst erlaubt. Die Verwendung eines derartigen Spiegels ist dabei in EUV-Projektionsbelichtungsanlagen vorgesehen.

[0003] Im allgemeinen ist es bekannt, daß Spiegel in EUV-Anlagen, beispielsweise EUV-Lithographiesystemen, eine sehr gute Feinpassee (figure) aufweisen müssen, was bedeutet, daß die Fehler im niedrigen Ortsfrequenzbereich bei EUV (Ortswellenlängen ≥ 1 mm) klein sind. Des weiteren müssen derartige Spiegel geringe Rauheiten im mittleren Ortsfrequenzbereich (MSFR: mid spatial frequency roughness; bei EUV Ortswellenlängen typischerweise zwischen $1 \mu\text{m}^{-1}$ und 1mm^{-1}) aufweisen. Als weiteres ist bekannt, daß ein Teil des einfallenden Lichts von den an sich bekannten und üblichen Multilayerreflexschichten, den sogenannten Distributed Bragg Reflectors (DBR), absorbiert und in Wärme umgewandelt wird.

[0004] Damit nun die Oberflächenform des Spiegels im Betrieb unter diesen thermischen Belastungen stabil bleibt, muß ein Material mit möglichst geringem Wärmeausdehnungskoeffizienten als Trägermaterial für derartige Spiegel eingesetzt werden. Insbesondere seien hier glaskeramische Materialien genannt, welche sich aus mehreren Komponenten verschiedener Wärmeausdehnungskoeffizienten zusammensetzen, so daß das Material makroskopisch keinen oder einen verschwindenden Wärmeausdehnungskoeffizienten aufweist. Als Beispiel hierfür können die unter den Markennamen ZERODUR® oder Clear Ceram® vertriebenen Materialien gelten.

[0005] Neben diesen im Bereich von derartigen Spiegeln zu erfüllenden Erfordernissen muß außerdem im Bereich der hohen Ortsfrequenzen (HSFR: high spatial frequency roughness; bei EUV: Ortswellenlängen $\leq 1 \mu\text{m}$), um eine entsprechende Reflektivität im EUV-Bereich der auf die Spiegeloberfläche aufzubringenden Multilayer sicherzustellen, eine sehr geringe Rauigkeit von ca. 0,1 nm rms der Oberfläche sichergestellt werden.

[0006] Die geforderte HSFR im Bereich von ca. 0,1 nm rms kann gemäß dem gegenwärtigen Stand der Technik mit Superpolierverfahren auf verschiedenen Materialien, wie Quarzglas, ULE, Silizium oder auch auf Glaskeramiken, wie ZERODUR® oder Clear Ceram®, erreicht werden. Allerdings weisen diese Superpolierverfahren den Nachteil auf, daß zumindest bei Verwendung von asphärischen Spiegeln im allgemeinen die Feinpassee und unter Umständen auch die längerwelligen MSFR-Anteile wieder verschlechtert werden, so daß den Superpolierverfahren ein Feinkorrekturprozeß nachgeschaltet werden muß.

[0007] Insbesondere bei der Verwendung von glaskeramischen Materialien, wie ZERODUR®, bei welchem Kristallite mit entsprechendem Wärmeausdehnungskoeffizient in eine amorphe Matrix mit einem anderen Wärmeausdehnungskoeffizient eingebettet sind, führt ein Feinkorrekturverfahren, insbesondere auf der Basis von Ionenstrahlbearbeitung, zu einer gravierenden Verschlechterung der HSFR.

[0008] Es ist daher die Aufgabe der Erfindung, eine Vor-

richtung zur Reflexion von elektromagnetischen Wellen, insbesondere in einem Wellenlängenbereich kleiner als 200 nm, zu schaffen, welche einen Spiegelträger aus einem Material mit wenigstens annähernd verschwindendem Wärmeausdehnungskoeffizienten aufweist, wobei die oben genannten Nachteile hinsichtlich der Vergrößerung der HSFR nach einer Feinkorrektur mit Strahlbearbeitungsverfahren vermieden werden.

[0009] Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch die Vorrichtung mit den im kennzeichnenden Teil von Anspruch 1 genannten Merkmalen gelöst.

[0010] Durch die Zwischenschicht, welche nach einer Verwendung von Strahlbearbeitungsverfahren, wie beispielsweise IBF (Ion Beam Figuring), die vor der Strahlbearbeitung vorhandene Oberflächengüte hinsichtlich HSFR beibehält, kann erreicht werden, daß bei einem Spiegelträger aus einem Material mit annähernd verschwindender Wärmeausdehnung eine Korrektur mit den sehr genau und kontrollierbar arbeitenden Strahlbearbeitungsverfahren ermöglicht wird, ohne daß sich die Oberfläche des Spiegelträgers dabei vor dem Aufbringen der reflektierenden Schicht in soweit verschlechtert, daß eine Einbuße an Reflektivität befürchtet werden muß.

[0011] Den Erfindern hat sich nämlich gezeigt, daß bei der Bearbeitung von derartigen Materialien mit verschwindender Wärmeausdehnung, welche nach dem derzeit bekannten Stand der Technik überwiegend aus zumindest im mikroskopischen Bereich aus zwei oder mehrphasigen Gemischen bestehen, eine unterschiedlich starke Abtragung der einzelnen Bestandteile durch Strahlbearbeitungsverfahren erfolgt, so daß sich die Oberflächenrauheit, die zuvor über Superpolitur-Verfahren erreicht wurde, nach der Strahlbearbeitung wiederum verschlechtert.

[0012] Die Zwischenschicht aus einem homogenen Material läßt dagegen die Strahlbearbeitung ohne Qualitätseinbußen hinsichtlich HSFR zu, so daß Korrekturen im Rahmen der Schichtdicke der Zwischenschicht problemlos möglich sind, ohne dabei die Oberflächenrauheit des Spiegelträgers selbst zu verschlechtern.

[0013] Bei besonders günstigen Ausgestaltungen der Erfindung besteht die Zwischenschicht dabei bei Lichtwellenlängen im sichtbaren Bereich aus reflektierendem Material, insbesondere aus Silizium.

[0014] In einer Zwischenschicht aus Silizium wird zusätzlich erreicht, daß, so hat sich in Versuchen gezeigt, die Oberflächenqualität hinsichtlich HSFR gegenüber der Oberflächenqualität der ursprünglichen unter der Zwischenschicht liegenden Oberfläche durch die Strahlbearbeitung des Siliziums nochmals verbessert werden kann. Damit lassen sich HSFR-Qualitäten erreichen, welche deutlich unter 0,1 nm rms liegen. Derartige Vorrichtungen zur Reflexion von elektromagnetischen Wellen sind damit auch für elektromagnetische Wellen mit einer Wellenlänge im Bereich von 10 bis 20 nm sehr gut geeignet, im Zusammenhang mit den an sich bekannten Multilayer-Reflexschichten eine sehr hohe Reflektivität zu erreichen.

[0015] Ein Verfahren zur Herstellung einer Vorrichtung, welche die oben genannte Aufgabe erfüllt, ist durch den kennzeichnenden Teil des Anspruchs 8 näher definiert.

[0016] Das Verfahren sieht dabei vor, daß in einem ersten Schritt mit an sich bekannten Polier- bzw. Superpolierverfahren Oberflächenrauheiten realisiert werden, welche kleiner oder zumindest gleich 0,25 bis 0,1 nm rms sind. Beim nächsten Verfahrensschritt wird dann auf den superpolierten Spiegelträger die entsprechende Zwischenschicht aufgebracht.

[0017] Da nun bei Superpolitur-Verfahren sehr häufig geringe Fehler im Bereich der Feinpassee oder des längerwelli-

gen MSFR auftreten können, werden diese Fehler über Strahlbehandlungsverfahren der Oberflächenform des Spiegelträgers in der Zwischenschicht korrigiert. Diese Zwischenschicht muß dabei hinsichtlich ihrer Schichtdicke so ausgestaltet werden, daß bei den Strahlbehandlungsverfahren die Oberfläche des eigentlichen Spiegelträgers nicht mitbearbeitet wird.

[0018] Auf die so bearbeitete, hinsichtlich der Oberflächenform, der Passe sowie MSFR und HSFR den entsprechenden Erfordernissen genügende Oberfläche des Spiegelträgers wird in einem letzten Verfahrensschritt eine reflektierende Schicht, insbesondere als an sich bekannte Multilayerschicht, aufgebracht.

[0019] Somit ist man erstmals in der Lage Strahlbehandlungsverfahren zur effektiven Beeinflussung der Oberflächenform hinsichtlich Passe und MSFR bei Spiegelträgern mit verschwindender Wärmeausdehnung, welche üblicherweise aus einer Glaskeramik, mit zumindest im mikroskopischen Bereich mehrphasigen Gemisch, bestehen, einzusetzen.

[0020] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den restlichen Unteransprüchen und dem anhand der Zeichnung nachfolgend dargestellten Ausführungsbeispiel.

[0021] Die einzige beigefügte Figur zeigt einen schematischen Querschnitt durch einen Teil eines Spiegelträgers mit stark überhöht dargestellter Beschichtung.

[0022] Der Ausschnitt zeigt einen Teil eines prinzipiell dargestellten Spiegelträgers 1 mit einer stark überhöht dargestellten Zwischenschicht 2 und einer reflektierenden Schicht 3, welche insbesondere als an sich bekannte Multilayerschicht (Distributed Bragg Reflectors/DBR) ausgebildet ist. Um hohen Anforderungen hinsichtlich der thermischen Stabilität, beispielsweise den Anforderungen in EUV-Lithographieobjektiven gerecht zu werden, muß der Spiegelträger 1 aus einem Material ausgebildet sein, welches eine zumindest annähernd verschwindende Wärmeausdehnung hat, um durch Erwärmungen, welche aufgrund von dem Multilayer 3 absorbiert Strahlung unvermeidbar sind, hinsichtlich der Abbildungsqualität unbeeinflusst zu bleiben.

[0023] Neben diesen Anforderungen hinsichtlich der Wärmeausdehnung muß der Spiegelträger 1 an seiner später die Multilayerschicht 3 tragenden Oberfläche 4 sehr hohe Anforderungen hinsichtlich der Passe bzw. Feinpasse, welche für die Abbildungsgüte verantwortlich ist, hinsichtlich der MSFR (mid spatial frequency roughness), welche für Streueffekte und Kontrast verantwortlich ist und hinsichtlich der HSFR (high spatial frequency roughness), welche für die Reflektivität verantwortlich ist, aufweisen. Um im Bereich von Wellenlängen unterhalb von 200 nm, beispielsweise mit Röntgenwellen im Bereich von $\lambda = 10-20$ nm, arbeiten zu können, muß beispielsweise der Wert der HSFR deutlich kleiner als 0,5 nm rms, bevorzugt 0,2 nm rms sein, besonders bevorzugt 0,1 nm rms sein.

[0024] Durch herkömmliche Superpoliervverfahren sind derartige Oberflächenqualitäten hinsichtlich HSFR durchaus zu erzielen. Bei Spiegeln, insbesondere bei asphärischen Spiegeln, leiden durch diese Superpoliervverfahren jedoch die Feinpasse sowie längerwellige Bereiche der MSFR.

[0025] Nun liegt der Versuch nahe, diese Fehler im Bereich der Feinpasse und der längerwelligen MSFR durch Strahlbehandlungsverfahren, insbesondere durch IBF (Ion Beam Figuring) zu korrigieren, da diese Verfahren in anderen Bereichen der Optik für ähnliche Korrekturen der Passe bereits eingesetzt werden.

[0026] Es hat sich jedoch gezeigt, daß bei den für den Spiegelträger 1 eingesetzten Materialien mit wenigstens an-

nähernd verschwindender Wärmeausdehnung bei der Strahlbearbeitung eine gravierende Verschlechterung der HSFR auftritt.

[0027] Die für den Spiegelträger 1 in Frage kommenden Materialien sind überwiegend Glaskeramiken oder andere Materialien, welche zumindest im mikroskopischen Bereich aus verschiedenen Phasen, mit jeweils unterschiedlicher Wärmeausdehnung, aufgebaut sind. Diese verschiedenen Phasen bzw. verschiedenen Materialien reagieren jedoch unterschiedlich stark, also mit einer unterschiedlich großen Abtragungsrate auf die Bearbeitung mittels IBF oder vergleichbaren Strahlbehandlungsverfahren.

[0028] Beispielsweise bei dem unter dem Markennamen ZERODUR vertriebenen Material, welches aus einer Glasmatrix mit darin eingebetteten Kristalliten besteht, zeigt, daß über IBF die Kristallite, welche eine Größe von circa 50 nm aufweisen, aus dem sie umgebenden Material "herauspräpariert" werden. Die Oberflächenqualität der Oberfläche 4 hinsichtlich HSFR wird dadurch gravierend verschlechtert.

[0029] Durch die Zwischenschicht 2 kann dieses Problem gelöst werden. Dazu wird die Oberfläche 4 in an sich bekannter Weise mittels Superpoliervverfahren auf die entsprechenden Oberflächenanforderungen, beispielsweise HSFR = 0,1 nm rms, superpoliert. Danach folgt der Auftrag der Zwischenschicht 2, welche in einer vergleichsweise dünnen Schichtstärke aufgetragen wird, beispielsweise zwischen 100 nm und 10 μ m Schichtstärke, so daß die thermische Ausdehnung der Zwischenschicht im Vergleich zum Spiegelsubstrat vernachlässigbar ist.

[0030] Als Verfahren zum Aufbringen der Zwischenschicht können übliche Beschichtungsverfahren verwendet werden, wobei sich Sputtern als besonders geeignet und hinsichtlich der Prozeßführung, welche wiederum für die Abbildung der Qualität der Oberfläche 4 in der Oberfläche 5 verantwortlich ist, gut zu handhaben, herausgestellt hat.

[0031] Über Strahlbehandlungsverfahren kann nun eine Korrektur hinsichtlich Feinpasse und längerwelliger MSFR der Zwischenschicht 2 erfolgen, so daß eine Oberfläche 5 der Zwischenschicht 2 nach diesem Bearbeitungsverfahren alle Spezifikationen und Anforderungen hinsichtlich thermischer Ausdehnung, Passe, MSFR und HSFR erfüllt.

[0032] Auf diese Oberfläche 5 der Zwischenschicht 2 kann dann der an sich bekannte Multilayer 3 als Reflexionschicht aufgebracht werden.

[0033] Die Materialeigenschaften der Zwischenschicht 2 müssen so ausgewählt werden, daß das Material der Zwischenschicht auf Strahlbehandlungsverfahren durch einen sehr gleichmäßigen Abtrag reagiert. Die Zwischenschicht 2 kann dazu beispielsweise aus siliziumhaltigen Materialien wie Quarzglas oder dergleichen bestehen. Auch die Verwendung von Silizium selbst oder Metallen ist denkbar. Aufgrund der Anforderung, daß die Passe der Oberfläche 5 mit Interferometern meßbar sein sollte, sind sicherlich opake Materialien zu bevorzugen, da diese keine störenden Interferenzen aus ihrer Schichtstärke verursachen und somit durch interferometrische Meßmethoden besser zu erfassen sind.

[0034] Besonders günstige Ergebnisse, so hat sich gezeigt, ergeben sich bei der Verwendung von Silizium für die Zwischenschicht 2. Silizium reagiert aufgrund seines sehr homogenen Aufbaus sehr positiv auf Strahlbehandlungsverfahren, insbesondere auf IBF. Die HSFR von IBF bearbeiteten Siliziumschichten läßt sich durch die IBF-Bearbeitung gegenüber der HSFR der unter der Siliziumschicht angebrachten Schicht noch steigern, so daß bei Verwendung einer Siliziumschicht eine weitere Verbesserung in der Oberfläche 5 gegenüber der Oberfläche 4 hinsichtlich HSFR zu erzielen ist.

[0035] Die Zwischenschicht 2 stellt damit also eine die HSFR der Oberfläche 4 konservierende Schicht oder bei der Verwendung von Silizium wie in der oben genannten Art sogar weiter verbessernde Schicht dar.

[0036] Grundlegend ließe sich jedoch auch bei der Verwendung von Schichten, welche die HSFR grob beibehalten oder zumindest nur sehr geringfügig nach der Bearbeitung von IBF verschlechtern, ein weiteres Superpoliervfahren der Zwischenschicht 2 zum Erzielen der gewünschten Qualität der Oberfläche 5 einsetzen.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Reflexion von elektromagnetischen Wellen, insbesondere in einem Wellenlängenbereich kleiner 200 nm, mit einem Spiegelträger aus einem Material mit wenigstens annähernd verschwindender Wärmeausdehnung und wenigstens einer auf diesem Spiegelträger aufgetragenen reflektierenden Schicht, **dadurch gekennzeichnet**, daß zwischen dem Spiegelträger (1) und der reflektierenden Schicht (3) eine Zwischenschicht (2) aus einem Material, welches so ausgebildet ist, daß sich seine Oberflächenrauheit nach Strahlbearbeitungsverfahren nicht signifikant erhöht, angebracht ist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Spiegelträger (1) aus einem glaskeramischen Material mit eingebetteten Kristalliten besteht.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Dicke der Zwischenschicht (2) zwischen 100 nm und 10 µm liegt.
4. Vorrichtung nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Zwischenschicht (2) aus einem siliziumhaltigen Material besteht.
5. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Zwischenschicht (2) aus Silizium besteht.
6. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Zwischenschicht (2) aus Quarzglas besteht.
7. Vorrichtung nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Zwischenschicht (2) aus Metall besteht.
8. Verfahren zur Herstellung einer Vorrichtung zur Reflexion von elektromagnetischen Wellen, insbesondere in einem Wellenlängenbereich kleiner 200 nm, mit einem Spiegelträger aus einem Material mit wenigstens annähernd verschwindender Wärmeausdehnung und wenigstens einer auf diesem Spiegelträger aufgetragenen reflektierenden Schicht, dadurch gekennzeichnet, daß in einem ersten Verfahrensschritt der Spiegelträger (1) auf Oberflächenrauheiten im Ortsfrequenzbereich kleiner/gleich $1\mu^{-1}$ kleiner/gleich 0,25 nm rms superpoliert wird; in einem zweiten Verfahrensschritt auf den superpolierten Spiegelträger (1) eine Zwischenschicht (2) aufgebracht wird; in einem dritten Verfahrensschritt eine Korrektur der Oberflächenform des Spiegelträgers (1) über Strahlbearbeitungsverfahren durchgeführt wird; und in einem vierten Verfahrensschritt die reflektierende Schicht (3), insbesondere als Multilayerschicht, auf den Spiegelträger (1) aufgebracht wird.
9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens einmal zwischen dem dritten und dem vierten Verfahrensschritt eine erneute Politur durchgeführt wird.
10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet,

kennzeichnet, daß als Strahlbearbeitungsverfahren IBF (Ion Beam Figuring) eingesetzt wird.

11. Verfahren nach Anspruch 8, 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Zwischenschicht (2) über Sputtern auf den Spiegelträger (1) aufgebracht wird.

12. Verfahren nach Anspruch 8, 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Zwischenschicht (2) über Elektronenstrahlverdampfung auf den Spiegelträger (1) aufgebracht wird.

13. Verwendung der Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7 in einem Objektiv für die EUV-Lithographie.

14. Verwendung der Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7 als Reflektionsmaske für die EUV-Lithographie.

15. Verwendung der Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7 in einem Objektiv für die EUV-Mikroskopie.

16. Verwendung der Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7 in einem Objektiv für die EUV-Astronomie.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

